

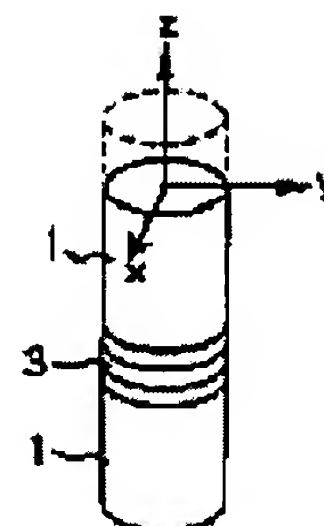
**OSCILLATORY ACTUATOR, AND OSCILLATORY DRIVER**

**Patent number:** JP11164576  
**Publication date:** 1999-06-18  
**Inventor:** MAENO TAKASHI; TAKEMURA KENJIROU  
**Applicant:** CANON INC  
**Classification:**  
- international: H02N2/00  
- european:  
**Application number:** JP19970326384 19971127  
**Priority number(s):**

**Abstract of JP11164576**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To produce multiple degree-of-freedom drive force, in simple constitution with a single oscillator.

**SOLUTION:** This oscillatory actuator has an oscillator, where an elastic body is provided with a piezoelectric element 3 which is an electromechanic energy converting element for exciting vertical oscillation and plural horizontal oscillations different in phase. It makes elliptical motion at the point within an arbitrary plane of the elastic body by combining two oscillations out of the vertical oscillation and the plural oscillations. The vertical oscillation excited in the oscillator is in a primary mode, the plural horizontal oscillations are in a secondary mode.



---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-164576

(43) 公開日 平成11年(1999) 6月18日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 2 N 2/00

H 0 2 N 2/00

C

// A 6 1 B 19/00

5 0 2

A 6 1 B 19/00

5 0 2

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平9-326384

(22) 出願日

平成9年(1997)11月27日

(71) 出願人

000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者

前野 隆司

神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1 慶

應義塾大学内

(72) 発明者

竹村 研治郎

神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1 慶

應義塾大学内

(74) 代理人

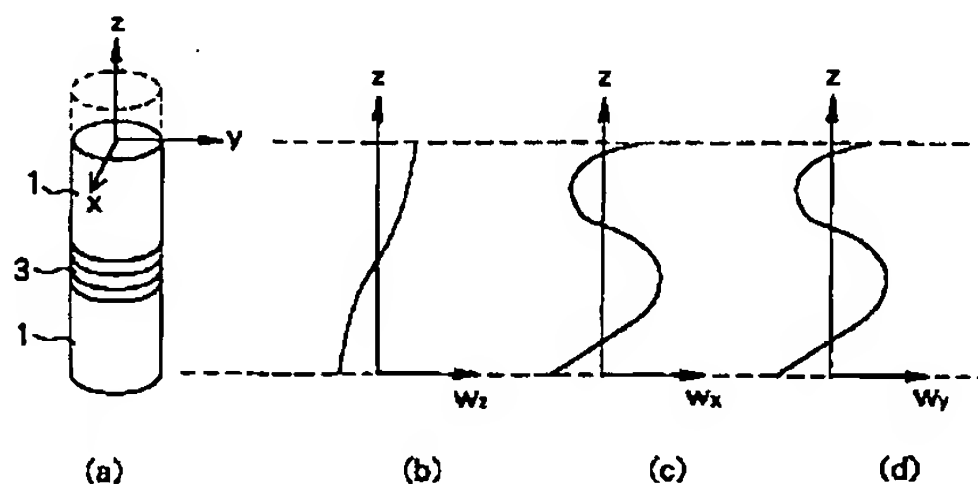
弁理士 岸田 正行 (外3名)

(54) 【発明の名称】 振動型アクチュエータおよび振動型駆動装置

(57) 【要約】

【課題】 単一の振動体で多自由度の駆動力を簡単な構成で生成することができる振動型アクチュエータを提供する。

【解決手段】 弾性体1に縦振動および、位相の異なる複数の横振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子3を設けた振動体を有し、前記縦振動および前記複数の横振動のうちの2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に楕円運動を形成させることを特徴とする振動型アクチュエータであって、前記振動体に励起する縦振動は1次モードであり、前記複数の横振動は2次モードである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 弾性体に縦振動および、位相の異なる複数の横振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設けた振動体を有し、前記縦振動および前記複数の横振動のうちの2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に楕円運動を形成させることを特徴とする振動型アクチュエータであって、前記振動体に励起する縦振動は1次モードであり、前記複数の横振動は2次モードであることを特徴とする振動型アクチュエータ。

【請求項2】 前記振動体は棒状に形成されていて、中心部分の軸部材の直径、あるいは軸部材に設けた凹部の直径あるいは形状を変化させることにより前記縦振動の固有振動数を調整可能としていることを特徴とする請求項1記載の振動型アクチュエータ。

【請求項3】 前記振動体の一部に設けた凹部の直径、あるいは形状を変化させることにより、前記縦振動および、位相の異なる複数の横振動との固有振動数を略一致させることを特徴とする請求項1または2記載の振動型アクチュエータ。

【請求項4】 前記振動体は棒状に形成されていて、中心部分の軸部材の直径あるいは軸部材に設けた凹部の直径あるいは形状を変化させることにより前記縦振動および、位相の異なる複数の横振動との固有振動数を略一致させることを特徴とする請求項1、2または3記載の振動型アクチュエータ。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれか一つに記載の振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設けたことを特徴とする振動型駆動装置。

【請求項6】 前記アームの関節部に設けた振動型アクチュエータを遠隔操作により操作者の関節の動きに対応して動作させる遠隔操作手段を有することを特徴とする請求項5記載の振動型駆動装置。

【請求項7】 請求項1ないし4のいずれか一つに記載の振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設け、腹腔鏡下手術用あるいはマイクロサージェリ用として用いることを特徴とする振動型駆動装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、互いに直交する例えば3軸回りについて運動を生成する振動型アクチュエータおよび振動型駆動装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】多軸周りの運動を生成する振動型アクチュエータとして、例えば精密工学会誌(Vol. 61, No. 3, pp. 1227-1230, 1995)、あるいは日経メカニカル(No. 5, pp. 26-27, 1997, 4, 28)に開示の球面振動型アクチュエータが提案されている。

【0003】この球面振動型アクチュエータは、球形形状に形成されたものを移動体とし、この球状の移動体(ロータ)を直交する3軸のうちの2軸あるいは3軸の回りに回転させるようにしたものであって、1軸回りについて回転力を振動(例えば進行波)により生成する振動体(ステータ)を前記移動体に加圧接触するように複数配置するように構成されている。

【0004】このような球面振動型アクチュエータとしては、現在は4個の振動体を用いた2自由度タイプと、3個の振動体を用いた3自由度タイプが開発されている。

【0005】また、球面振動型アクチュエータに用いられている前記振動体としては、例えばカメラのオートフォーカスレンズの駆動等に用いられているリング型振動型アクチュエータの振動体と同様のもので、図16にその外観形状を示す。この振動体19は、リング形状の弾性体19aの底面部に圧電性セラミックスで形成された圧電素子19bを接着したもので、圧電素子19bには適当な位相差(半波長の奇数倍の位相差)で2相の駆動相が形成されていて、この両駆動相に適当な位相差(例えば90°)を有する交番信号を印可することで、弾性体19aに周方向に沿ってたわみ(曲げ)進行波が形成される。そして、この弾性体19aに不図示の接触体を不図示の加圧手段を介して接触させることで、前記接触体と前記振動体19は進行波の進行方向と逆方向を移動方向として相対移動する。なお、振動体19を固定とした場合、前記接触体は移動体として例えば回転する。

【0006】球面振動型アクチュエータ、例えば2自由度タイプの球面振動型アクチュエータは、図17に示すように、対向の一对の振動体19を球状の移動体2の周囲に2対配置することで、振動体19の中心を回転軸として2自由度の移動を実現している。

【0007】また、他の多軸周りの運動を生成する振動型アクチュエータとしては、Third International Conference on Motion and Vibration Control, Chiba, September, 1-6, 1996, pp. K9-K15に記載されている圧電マニピュレータが提案されている。その構成を図18に示す。

【0008】この圧電マニピュレータは、円筒状の弾性体と圧電素子で形成された振動体19と、振動体19の軸方向の端部に配置された半球状の移動体20a、20bから構成され、前記振動体19の周囲には分割された不図示の電極が形成されている。また、半球状の移動体20aと20bとは振動体19内に配置されたバネ21で互いに引き合うことで、振動体19の開口端に移動体20aと20bとがそれぞれ常に接するようにしている。

【0009】そして、振動体19に励起する振動を調整するように、分割された電極のそれぞれに適当な交流電

圧を加えることによって、振動体19の開口端にそれぞれ接する2つの半球状の移動体20a、20bを1つの移動体19のみで駆動するようにしている。

【0010】この駆動原理は、半球状の移動体20a、20bと振動体19との接触点に楕円運動を生成するものであり、各電極に印加する交流電圧を変化させることで、複数面内の楕円運動が生成され、半球状の回転子を任意の方向に駆動できるようにしたものである。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図17に示す従来の球面振動型アクチュエータは、複数の振動体を用いているため、以下のような難点が指摘されている。

【0012】①：1つの軸周りの回転に対して、複数の振動体を用いるために、各振動体の特性を一致させる必要がある。

【0013】②：移動体の周囲に複数の振動体が存在するため、小型化が難しくスペース効率が悪い。

【0014】③：駆動に供しない他の軸回り用の振動体が移動体に圧接されているため、回転に対する抵抗となり、効率や発熱の問題がある。

【0015】また、図18に示す従来の筒状振動体の振動型アクチュエータについては、以下のような難点が指摘されている。

【0016】④：振動体の周面に設けられた複数の電極に駆動方向に合わせて交番信号を入力するため、入力する信号が各電極毎に異なるため、複雑な制御を要する。

【0017】⑤：円筒形状の振動体19に対して半球状の移動体20a、20bを振動体19内に配置されたバネ21を互いに引き合わせて圧接しているため、可動域が制限され、また圧接の加圧力が一定でなく、加圧力の調整を簡単にできない。

【0018】本出願に係る第1の発明の目的は、単一の振動体で多自由度の駆動力を簡単な構成で生成することができる振動型アクチュエータを提供しようとするものである。

【0019】本出願に係る第2の発明の目的は、簡単な構成で被駆動体を多自由度で駆動できる振動型駆動装置を提供しようとするものである。

【0020】

【課題を解決するための手段】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの構成は、弾性体に縦振動および、位相の異なる複数の横振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設けた振動体を有し、前記縦振動および前記複数の横振動のうちの2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に楕円運動を形成させることを特徴とする振動型アクチュエータであって、前記振動体に励起する縦振動は1次モードであり、前記複数の横振動は2次モードである。

【0021】前記振動体は棒状に形成されていて、中心部分の軸部材の直径、あるいは軸部材に設けた凹部の直径あるいは形状を変化させることにより前記縦振動の固有振動数を調整可能としている。

【0022】前記振動体の一部に設けた凹部により、前記縦振動および、位相の異なる複数の横振動との固有振動数を略一致させる。

【0023】前記振動体は棒状に形成されていて、中心部分の軸部材の直径、あるいは軸部材に設けた凹部の直径あるいは形状を変化させることにより前記縦振動および、位相の異なる複数の横振動との固有振動数を略一致させる。

【0024】本出願に係る第2の発明の目的を実現する振動型駆動装置の第1の構成は、上記した振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設けたものである。

【0025】本出願に係る第2の発明の目的を実現する振動型駆動装置の第2の構成は、前記アームの関節部に設けた振動型アクチュエータを遠隔操作により操作者の関節の動きに対応して動作させる遠隔操作手段を有するものである。

【0026】本出願に係る第2の発明の目的を実現する振動型駆動装置の第3の構成は、前記振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設け、腹腔鏡下手術用あるいはマイクロサージェリ用として用いるものである。

【0027】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）図1は本発明の第1の実施の形態を示す。

【0028】図1は本実施の形態の振動型アクチュエータの駆動原理を示し、単一の振動体としての円柱形状の弾性体1間に、図1の(b)、(c)、(d)に夫々示す変位を与える電気-機械エネルギー変換素子としての圧電素子3が挟持固定されている。また、圧電素子としては、例えば単板の圧電素子板を複数枚重ね合わせ、必要に応じて圧電素子板の間に電極板を挟み込むようにして、必要とする圧電素子板に対して個々に駆動のための交番信号を印加できるようにしている。

【0029】本実施の形態において、圧電素子3は、交番信号の印加により軸方向に伸縮変位を繰り返す、図1の(b)に示すように、互いに直交するx、y、zの3軸の内、z軸方向の変位である縦振動を励起する第1の圧電素子と、図1の(c)に示すように、z-x平面内で横（曲げ）振動を励起する第2の圧電素子と、図1の(d)に示すように、z-y平面内で横（曲げ）振動を励起する第3の圧電素子を有している。上記の第1の圧電素子は、厚さ方向に一樣に分極されている。また、第2、第3の圧電素子は、直径を挟んだ両側の部分で、厚さ方向に互いに逆極性を持つように分極されている。

【0030】ここで、前記第2の圧電素子と前記第3の



圧電素子に対して例えば位相が $90^\circ$ 異なる交番信号を印加すると、振動体に対する2つの曲げ振動の合成で、振動体の表面上には $z$ 軸回り( $x-y$ 平面内)の楕円運動が形成される。この場合、 $x$ 軸と $y$ 軸についての振動体の固有振動数は略一致するため、この固有振動数を駆動周波数とする交番信号を前記第2の圧電素子と前記第3の圧電素子に印加すれば上記した楕円振動が生成されることになる。

【0031】次に、前記第1の圧電素子に前記振動体の $z$ 軸方向における固有振動数と略一致する周波数の交番信号を印加すると、前記振動体は一定の周期で1次モードで縦振動を繰り返すことになる。

【0032】その際、前記振動体が振動する縦振動の振動の1周期と一致(略一致)した1周期の振動で励振するように前記第2の圧電素子に交番信号を印加すると、前記振動体の表面上の点には $x-z$ 平面内の楕円運動が生成され、 $x$ 軸方向( $y$ 軸回り)への駆動力が得られる。この場合、前記振動体の $z$ 軸方向における固有振動数と $x-z$ 平面における曲げ振動の固有振動数は異なるため、図1の(c)に示すように、本実施の形態では $x$ 軸方向の曲げ振動に対する固有振動数の2次モードで前記第2の圧電素子を駆動し、縦振動の周期と曲げ振動の周期とを一致させるようにしている。

【0033】同様にして、前記振動体が振動する縦振動の振動の1周期と一致(略一致)した1周期の振動で励振するように前記第3の圧電素子に交番信号を印加すると、前記振動体の表面上の点には $y-z$ 平面内の楕円運動が生成され、 $y$ 軸方向( $x$ 軸回り)への駆動力が得られる。この場合、前記振動体の $z$ 軸方向における固有振動数と $y-z$ 平面における曲げ振動の固有振動数は異なるため、図1の(d)に示すように、本実施の形態では $y$ 軸方向の曲げ振動に対する固有振動数の2次モードで前記第3の圧電素子を駆動することにより、縦振動の周期と曲げ振動の周期とを一致させるようにしている。

【0034】すなわち、振動体1の固有振動数に近い周波数の交番信号、例えば交流電圧を第1の圧電素子、第2の圧電素子および第3の圧電素子に印加することにより、振動体に図1の(b)、(c)、(d)のような固有振動の縦振動あるいは横(曲げ)振動が励振される。

【0035】そして、前記第1の圧電素子、第2の圧電素子及び第3の圧電素子の内のいずれか2つに選択的に交番信号を印加することにより、振動体1の縦振動と、互いに直交する方向の横(曲げ)振動の2つが組み合わさって、振動体1の表面上の点に楕円運動が生成される。例えば、(b)と(c)の組み合わせによって $x-z$ 面内の楕円運動が生成される。あるいは(b)と(d)の組み合わせによって $y-z$ 平面内の楕円運動が、(c)と(d)の組み合わせによって $x-y$ 平面内の楕円運動が生成される。

【0036】従って、振動体のある一部に移動体を圧接

すると、移動体を複数の方向に駆動することができる。

【0037】従来の圧電型アクチュエータの駆動原理は、振動体を構成する圧電素子の2相の駆動相に位相のずれた交番信号を印加することで弾性体の表面の点について1軸回りの楕円運動を形成するようにしていたが、本実施の形態では、3相の圧電素子(第1の圧電素子、第2の圧電素子、第3の圧電素子)を組み合わせることにより、3軸回り(直交する3平面内)の楕円運動を形成することが可能となり、単一の振動体で直交する3平面内についての駆動が可能となるという振動型アクチュエータの実現に加え、更に小型化を図ることができる。

【0038】(第2の実施の形態)図2は本発明の第2の実施の形態を示す。

【0039】上記した図1に示す第1の実施の形態は、振動型アクチュエータにおける振動体を円柱状としているが、本実施の形態では、振動体を角柱状としたもので、角柱形状の弾性体1の側面に圧電素子3を接着剤により接着している。

【0040】本実施の形態では、例えば角柱形状の弾性体1の隣り合う2側面に横振動(曲げ振動)を形成する第2の圧電素子と第3の圧電素子を配置することで、第2の圧電素子と第3の圧電素子を丁度 $90^\circ$ の位相差を有するように配置することができ、また縦振動を形成する第1の圧電素子を残った他の側面に接着剤により接着するようにしている。

【0041】本実施の形態の場合においても、第1の圧電素子、第2の圧電素子及び第3の圧電素子には第1の実施の形態と同様の交番信号が印加され、第1の圧電素子への交番信号の印加で図2の(b)に示すように振動体は縦振動し、第2の圧電素子への交番信号の印加で図2の(c)に示すように振動体は $x-z$ 平面内で曲げ振動し、第3の圧電素子への交番信号の印加で図2の(d)に示すように振動体は $y-z$ 平面内で曲げ振動する。

【0042】したがって、第1の実施の形態と同様に、これら3通りの振動の内の2つの組み合わせにより、互いに直交する3平面内での駆動力が得られることになる。

【0043】本実施の形態では、角柱状の側面に圧電素子を貼り付けることで振動体が得られるので、振動体の製作が容易で、しかも曲げ振動用の2つの圧電素子を隣り合う側面に貼り付けるだけで両圧電素子の位置(位相差)を規定することができる。

【0044】上記した第1の実施の形態及び第2の実施の形態においては、振動体を固定とすれば、前記振動体の駆動面に加圧接触する接触部材(図中破線に示す)を移動体として直交3軸方向へ駆動力を与えることができ、逆に前記接触体を固定とすれば、前記振動体に前記接触体に対して直交する3軸方向へ駆動力を与えることができる。

【0045】(第3の実施の形態)図3は本発明の第3の実施の形態を示す。

【0046】本実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体の基本的な構成は、図1に示す第1の実施の形態と同様であって、内径部にめねじ部が形成された頭部弾性体4と、中心部に穴が形成された中間弾性体5aと後部弾性体5bの間にそれぞれ圧電素子を配置し、後部弾性体5b側から挿入した中心軸部材をなす締結ボルト6を頭部弾性体4のめねじ部に螺着することにより、頭部弾性体4と中間弾性体5aとの間、中間弾性体5aと後部弾性体5bとの間にそれぞれ圧電素子3を挟持して一体的に連結されて形成されている。

【0047】本実施の形態において、頭部弾性体4と中間弾性体5aとの間に配置される圧電素子3は、振動体に縦振動を励起する第1の圧電素子であり、また中間弾性体5aと後部弾性体5bとの間に配置される圧電素子3は、 $x-z$ 平面内での曲げ振動を形成する第2の圧電素子と、 $y-z$ 平面内での曲げ振動を形成する第3の圧電素子であって、前記第2の圧電素子と前記第3の圧電素子は位置的に $90^\circ$ の位相差を有して配置されている。

【0048】また、頭部弾性体4の先端部は、球体形状の移動体2と接触する軸線に対して斜めの内周面がテーパ面に形成されている。

【0049】したがって、本実施の形態においても、上記した第1の実施の形態と同様に、振動体に形成される縦振動、2方向の曲げ振動のうち、2つの振動を組み合わせることによって、球体形状の移動体2を $x$ 軸、 $y$ 軸、 $z$ 軸周りにそれぞれ回転させることができる。

【0050】例えば、図1の(c)と(d)の組み合わせによって $z$ 軸周りに、(b)と(c)の組み合わせによって $x$ 軸周りに、(b)と(d)の組み合わせによって $y$ 軸周りに移動体2を回転させることができ、移動体2は、互いに直交する3軸周りに回転できる。

【0051】(第4の実施の形態)図4は本発明の第4の実施の形態を示す。

【0052】本実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体の基本的構成は図3に示す第3の実施の形態と同様で、頭部4aに形成される直交3平面内の楕円運動で駆動される移動体2を平板状としている点が第3の実施の形態と異なる。

【0053】本実施の形態では、頭部弾性体4の頭部4aに移動体2を圧接することで、移動体2は $x$ 軸方向、 $y$ 軸方向および $z$ 軸周りに運動する。例えば、第1の圧電素子を駆動して形成される $z$ 方向の縦振動と、第2の圧電素子を駆動して形成される $x-z$ 平面内の横振動とを約 $90^\circ$ 位相差を有して励起すると、振動体の頭部4aには $x-z$ 面内の楕円運動が生じ、頭部4aに接触した移動体2は $x$ 軸方向に直進運動する。

【0054】また、 $z$ 方向の縦振動と $y-z$ 平面内の横

振動を位相を約 $90^\circ$  違って励起すると、頭部4aの端部の点には $y-z$ 面内の楕円運動が生じ、頭部4aに接触した移動体2は $y$ 軸方向に直進運動する。

【0055】さらに、 $x-z$ 平面内の横振動と $y-z$ 平面内の横振動を約 $90^\circ$ の位相差を有して励起すると、頭部4aには $xy$ 面内の楕円運動が生じ、頭部4aに接触した移動体2は $z$ 軸周りに回転する。

【0056】(第5の実施の形態)図5は本発明の第5の実施の形態を示す。

【0057】本実施の形態は図3に示す第3の実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体に対して球体形状の移動体2を永久磁石7の磁力により吸引加圧するようにしたもので、頭部弾性体4の先端凹部4b内に永久磁石7を設けるようにしている。

【0058】(第6の実施の形態)図6は第6の実施の形態を示す。

【0059】本実施の形態は図3に示す第3の実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体に対して球体形状の移動体2を電磁石の磁力により吸引加圧するようにしたもので、頭部弾性体4の外周部に設けた凹溝4c内にコイル8を配置し、コイル8に通電することにより電磁石を構成し、この磁力によって移動体2を頭部弾性体4に吸引加圧する。コイル8は振動体の周囲に配置された支持部材30に取り付けられ、また振動体から延びる支持板9の外端部が支持部材30に取り付けられている。

【0060】なお、コイル8は磁気回路を構成可能であれば、振動体の周囲のいかなる場所に配置されていてもよい。

【0061】(第7の実施の形態)図7は本発明の第7の実施の形態を示す。

【0062】本実施の形態は、図3に示す第3の実施の形態における振動型アクチュエータの振動体に対する球体形状の移動体2の接触性の改善を図るもので、頭部弾性体4の先端凹部4b内に、移動体2の接触部近傍に配した弾性材料で形成された当接体10を配置し、移動体2と頭部弾性体4の接触領域の増加を図っている。

【0063】このため、振動体に対する移動体2の接触が安定し、出力トルクが増し、また、部品加工時の加工誤差の許容範囲を広げることができる。

【0064】なお、本実施の形態では、図5に示す第5の実施の形態と同様に、頭部弾性体4の先端凹部4b内に永久磁石7を設け、球体形状の移動体2を永久磁石7の磁力により吸引加圧するようにしている。

【0065】(第8の実施の形態)図8は本発明の第8の実施の形態を示す。

【0066】本実施の形態は、第7の実施の形態と同様に、図3に示す第3の実施の形態における振動型アクチュエータの振動体に対する球体形状の移動体2の接触性の改善を図るもので、振動体における頭部弾性体4の先

端凹部4bをばね性を有する筒状のつば部11により形成している。

【0067】本実施の形態では、不図示の加圧手段により移動体2がばね性を有するつば部11によってある程度の弾性力をもって接触するので、移動体2の球面に対するつば部11の接触面積が増大し、移動体2の接触性が安定することとなり、出力トルクが増し、また部品加工時の加工誤差の許容範囲を広げることができる。

【0068】なお、本実施の形態では、図5に示す第5の実施の形態と同様に、頭部弾性体4の先端凹部4b内に永久磁石7を設け、球体形状の移動体2を永久磁石7の磁力により吸引加圧するようにしている。

【0069】(第9の実施の形態)図9、図10、図11は本発明の第9の実施の形態を示す。

【0070】本実施の形態は、円柱形状の振動体の具体的構成を示し、頭部弾性体4の後に第1弾性体5cを直接配置し、第1弾性体5cと第2弾性体5dとの間に縦振動を励起するための圧電素子板3a、3bと、振動検出のための圧電素子板3cと、中央部9aが電極板として圧電素子板3aに接触する機能を兼用する支持板9と、電極板12z、12sz、13とが配置される。また第2弾性体5dと第3弾性体5eとの間に、横振動(曲げ振動)を励起する圧電素子板3e、3fと3g、3h、振動検出のための圧電素子板3dと3i、電極板12SA、12A、12SB、12B、13とシート14が配置される。そして、頭部弾性体4の内径部のめねじ部に締結ボルト6の先端ねじ部が螺合することにより、頭部弾性体4、第1弾性体5c、第2弾性体5d、第3弾性体5e、圧電素子板3a~3i、電極板12、13およびシート14が図示の配列で一体的に挟持され、振動体を構成している。なお、電極板13はグランド電極である。

【0071】ここで、支持板9は中央の電極板部9aから径方向に延出した腕部が、図11に示す固定部30に固定されることにより振動体を支持するようにしている。なお、振動体自体の固有振動に影響を与えないのであれば、支持板9は板以外の形状でもよい。勿論電極板を兼用するものでなくてもよい。

【0072】さらに、圧電素子板3d、3e、3fと、圧電素子板3g、3h、3iとは左右が逆極性を有するように分極されていて、曲げ方向に90°の位相差を有して配置されている。なお、シート14は絶縁性を有し、シート14の両側に配置される第2弾性体5dと電極板12、あるいは第3弾性体5eと電極板12が電氣的に独立となるようにしている。

【0073】このように構成された振動体に対し、後述の図19に示す駆動回路より、例えば、圧電素子板3e、3fを挟む電極板12(12A)に振動体の固有振動数に近い周波数の交流電圧を入力すると、これらの圧電素子板3e、3fが直径部分を挟んだ両側の部分が厚

さ方向に伸びと縮みを交互に繰り返す、振動体に横振動を励振する。

【0074】また、圧電素子板3dは、圧電素子板3e、3fにより励振された振動体の横振動によって歪み、起電力を発生する。この際、圧電素子板3dに接する電極板12から取り出される交流電圧は、振動検出用として用いられる。圧電素子板3d、3eと位置的に90°の位相差を有して配置されている圧電素子板3g、3hを挟む電極板12(12B)に振動体の固有振動数に近い周波数の交流電圧を入力すると、これらの圧電素子板3g、3hが直径部分を挟んだ両側の部分が厚さ方向に伸びと縮みを繰り返す、振動体に縦振動を励振する。また、圧電素子板3cは、圧電素子板3a、3bにより励振された振動体の縦振動によって歪み、起電力を発生する。この際、圧電素子板3cに接する電極板12(12ZS)から取り出される交流電圧は、振動検出用として用いられる。

【0075】また、縦振動を励振する圧電素子板3a~3cの位置は、縦振動1次モードの節となる位置である。さらに、横振動を励振する圧電素子板3d~3iの位置は、横振動2次モードの腹となる位置である。

【0076】一方、頭部弾性体4の外周部に形成されたくびれ部(凹部)4cにより、固有振動の振幅が拡大し、固有振動数を低く抑えることができる。また、振動体の中心軸6に施されたくびれ部(凹部)6aにより、主に縦振動の固有振動数を低く抑えることができる。

【0077】図19は上記した振動体を駆動制御する駆動回路を示すブロック図である。101はシステム全体をコントロールするCPUで、102は発振器、103は移相器、104は選択切り替えスイッチである。105は駆動波形を作る出力回路で、図20に示す回路により構成されている。出力回路105Z、105A、105Bはそれぞれ電極板12Z、12A、12Bと接続され、圧電素子3aと3b、3eと3f、3gと3hに交流電圧(交番信号)を印加する。これらの圧電素子は、Z軸方向の縦振動、Z-X平面内の横(曲げ)振動、Z-Y平面内の横(曲げ)振動をそれぞれ励振する。

【0078】選択切り替えスイッチ104はCPU101からの指令に基づいて、Z、A、Bの3つの出力から2つを選択し、発振器102および移相器103からの2つの信号を出力する。これにより、3軸の回転のうち1軸を選択することができることになる。

【0079】107はパルス幅を制御するパルス幅制御回路で、圧電素子に印加される交流電圧の振幅を制御することができる。パルス幅により印加電圧をそれぞれ個別独立に変えることで楕円軌跡の縦横比(長軸と短軸の比)を変えることができる。発振器102の発信周波数を振動体の固有振動数に近づけたり、遠ざけたりして振動体の振幅を変え、楕円軌跡の大きさを変えることができる。



【0080】圧電素子板3c, 3d, 3iで発生するZ軸方向の縦振動、Z-X平面内の横（曲げ振動）、Z-Y平面内の横（曲げ）振動、それぞれの振動振幅に応じた電圧は電極板12SZ、12SA、12SBを通じて検出回路106からそれぞれの振幅、位相の情報がCPUに入力される。

【0081】これらの情報に基づき、パルス幅制御回路107、移相器103、発振器102をCP101でコントロールすることで、楕円軌跡を任意の形状に制御することができる。

【0082】このような制御を行うことにより、以下のことが可能となる。

【0083】1：振動体の送り方向速度分布が変わるので、移動体の速度を変えることができる。

【0084】2：摩擦力分布が変わるので、最も摺動損の少ない楕円軌跡をつくることができる。例えば楕円軌跡の傾きについては、移動体の球面に対して楕円の軸が直交するように制御すれば良い。具体的には、図3に示した弾性体4の内周面（軸線に対して斜めに形成されている）の放線方向に楕円軌跡を発生させて、効率向上を図ることができる。

【0085】あるいは、不図示の回転検出計と電力計の信号をフィードバックして、最も効率の楕円軌跡の状態を駆動することもできる。

【0086】3：振動体と移動体との当たり方（法線方向の変位と速度）も変わるので、最も衝撃の少ない接触の仕方、あるいは鳴き等の異常なノイズを発生しない楕円軌跡とすることもできる。

【0087】（第10の実施の形態）図12は本発明の第10の実施の形態を示す。

【0088】本実施の形態は、例えば図9に示す支持板9を有する振動体を、例えば任意の方向に移動可能な支持台15を介して支持するようにしてものである。支持台15は円筒形状であり、ロボットアーム等に取り付けられることにより、多自由度振動型アクチュエータを多自由度運動できる関節として利用できる。

【0089】（第11の実施の形態）図13は本発明の第11の実施の形態を示す。

【0090】本実施の形態は、前述した各実施の形態の振動型アクチュエータ40を直列に2つ接続したものを操作腕として左右に設け、制御システム41を介して操作グロブ16により遠隔操作するようにしたもので、人の関節の角変位を読み取れるようになっている操作グロブ16と制御システム41の組み合わせでアクチュエータを駆動する遠隔操作システムは公知なので、ここではこれらの構成の説明については省略する。

【0091】本実施の形態の操作腕は、手元側の振動型アクチュエータ40の移動体42として球体形状のものを使用して、先端側の振動型アクチュエータ40の後端部に取り付け、この先端側の振動型アクチュエータ40

の移動体43として操作指部分を有する棒状（振動体の頭部弾性体部分との接触部は球面）のものを使用しており、移動体42、43はヒトの関節と対応した位置に取り付けられ、人の運動に対応した遠隔操作機械（ロボット）を実現できる。なお、遠隔操作機械とは、ヒトの動きに対応して動作する機械である。

【0092】このような遠隔操作機械は、腹腔鏡下手術やマイクロサージェリーに用いることもできる。腹腔鏡下手術とは患者の体を切開することなく、体内に挿入された内視鏡と鉗子によって行われる手術である。

【0093】本実施の形態をこれに使用することにより、人の手を入れることのできない患者の腹部の内部で、人の手の複雑な動きを実現できるので、これまでの腹腔鏡下手術よりも緻密な手術を行うことができる。なお、マイクロサージェリーとは、微細な生体組織に対して行う、細かい操作を伴う手術であり、現在は顕微鏡下で直接人の手によって行われている。遠隔操作機械を用いて術者側のスケールと機械側のスケールを調節することで、人の手のスケールでは困難である細かい操作を容易に行うことができる。

【0094】（第12の実施の形態）図14は第12の実施の形態を示す。

【0095】本実施の形態は、前述した各実施の形態の振動型アクチュエータ（多自由度振動型アクチュエータ）50をシャーシ17に複数取り付け、また移動体として球体を用いることにより、X-Y平面内を任意に移動できるようにしたもので、並進および回転をすることができるようにしている。なお、図14では、多自由度振動型アクチュエータ50の移動体2が不図示の床と接触するようにしているが、逆に高所等に配置したレールの下面に接触させ、懸垂型の移動機構とすることもできる。

【0096】（第13の実施の形態）図15は本発明の第13の実施の形態を示す。

【0097】本実施の形態は、前述した各実施の形態の振動型アクチュエータ（多自由度振動型アクチュエータ）60の球体形状の移動体2内にカメラ18を配置し、監視カメラやコンピュータへの入力用の撮影装置としたものである。

【0098】

【発明の効果】請求項1に係る発明によれば、振動体の縦振動と横振動の固有振動数が一致し、振動体各点に互いに直交する3平面内の楕円運動が生成できる。振動体各点の楕円運動に接触体を接触させることで、接触体を多自由度運動させることができる。単一振動体であるので省スペースを実現できる。また、複数の振動体の振動特性を一致させる必要がない。

【0099】請求項2の発明によれば、振動体の縦振動の固有振動数を低くでき、振動体の縦振動と横振動の固有振動数を略一致させることができる。



【0100】請求項3の発明によれば、主に横振動の固有振動数を調整することで、縦振動1次モードと横振動2次モードの固有振動数を略一致させることができ、振動体の縦振動1次モードと横振動2次モードを用いた多自由度振動型アクチュエータを実現することができる。

【0101】請求項4の発明によれば、主に縦振動の固有振動数を調整することで、縦振動の1次モードと横振動の2次モードの固有振動数を略一致させることができ、振動体の縦振動1次モードと横振動2次モードを用いた多自由度振動型アクチュエータを実現することができる。

【0102】請求項5～7の発明によれば、多自由度振動型アクチュエータ用いた小型の振動型駆動装置が実現でき、医療用機械等の人間の手の届きにくい小さな場所での精密な作業が行える。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示し、(a)は振動体の外観斜視図、(b)は振動体の縦振動の1次モード、(c)、(d)は横振動の2次モードを示す。

【図2】本発明の第2の実施の形態を示し、(a)は振動体の外観斜視図、(b)は振動体の縦振動の1次モード、(c)、(d)は横振動の2次モードを示す。

【図3】本発明の第3の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図4】本発明の第4の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図5】本発明の第5の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図6】本発明の第6の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図7】本発明の第7の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図8】本発明の第8の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図9】本発明の第9の実施の形態を示す振動型アクチュエータの外観斜視図。

【図10】図9の振動体の分解斜視図。

【図11】(a)、(b)は図9の振動体を支持した状態を示す側面図と上面図。

【図12】本発明の第10の実施の形態を示す側面図。

【図13】本発明の第11の実施の形態を示す概略図。

【図14】本発明の第12の実施の形態を示す側面図。

【図15】本発明の第13の実施の形態を示す外観斜視図。

【図16】リング状振動体の斜視図。

【図17】従来の球面振動型アクチュエータの斜視図。

【図18】従来の振動型アクチュエータの断面図。

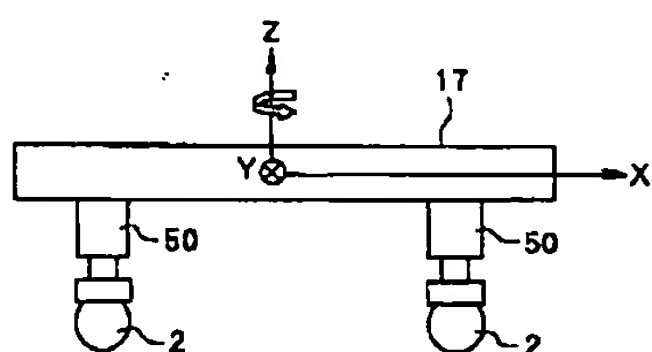
【図19】第9の実施の形態の駆動回路図。

【図20】図19の出力回路の回路図。

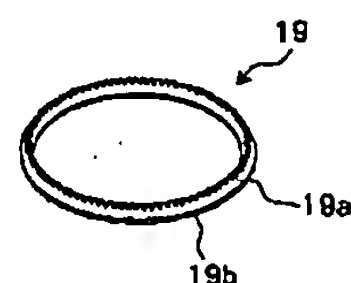
#### 【符号の説明】

1 弾性体	2 移動体
3 圧電素子	3 a, 3 b 縦振動用圧電素子
3 c 縦振動検出用圧電素子	3 e～3 h 横振動用圧電素子
3 d, 3 i 横振動検出用圧電素子	
4 頭部弾性体	4 a 頭部先端凹部
4 b 凹溝(凹部)	4 c くびれ
5 a 中間弾性体	5 b 後部弾性体
5 c 第1弾性体	5 d 第2弾性体
5 e 第3弾性体	
6 締結ボルト	6 a 締結シャフト凹部
7 永久磁石	8 コイル
9 支持板	9 a 中央部
10 当接体	11 つば部
12 電極板	13 グランド電極板
14 シート	15 支持台
16 グローブ	17 シャーシ
18 カメラ	19 振動体
19 a 弾性体	19 b 圧電素子
20 a, 20 b 移動体	21 バネ
30 任意支持台	40, 50, 60 振動体
41 制御システム	42, 43 移動体

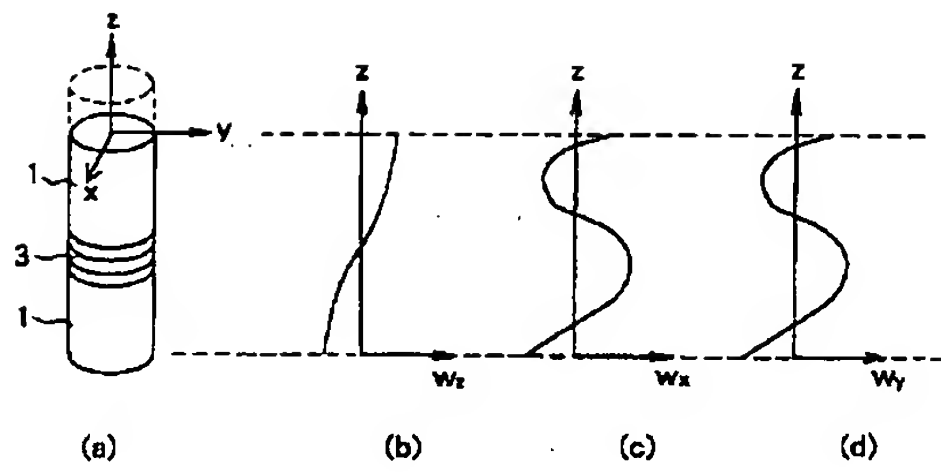
【図14】



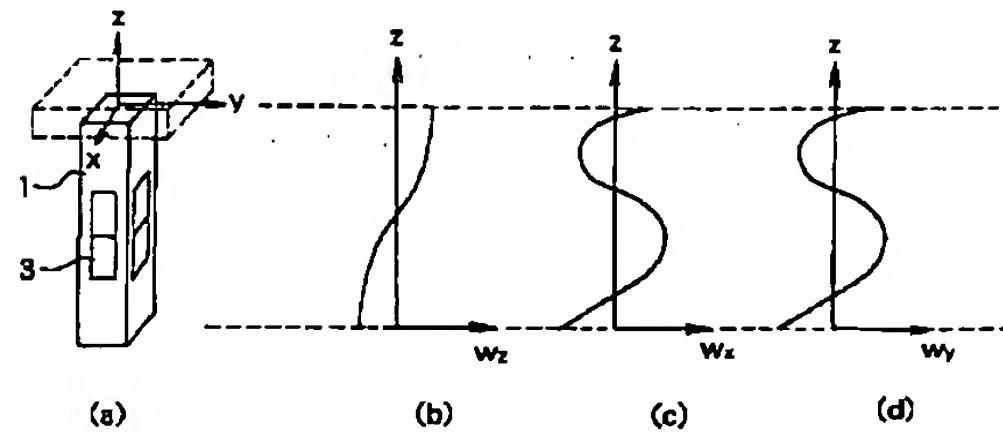
【図16】



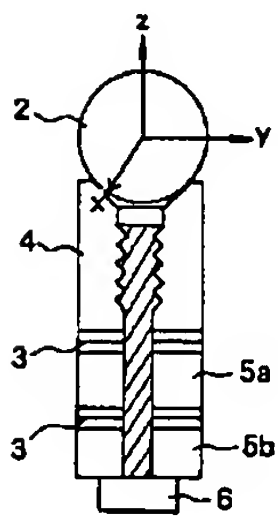
【図1】



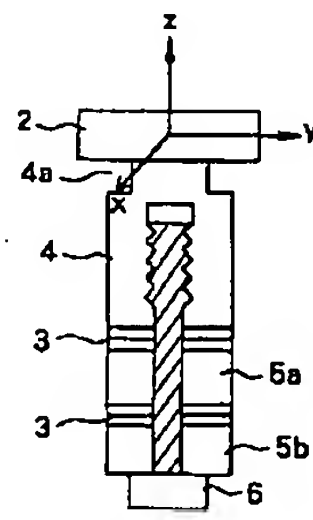
【図2】



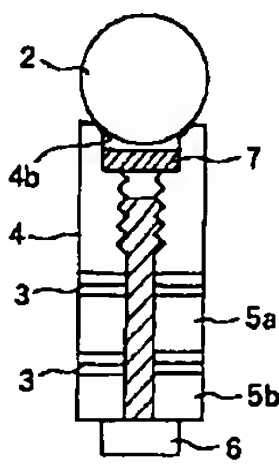
【図3】



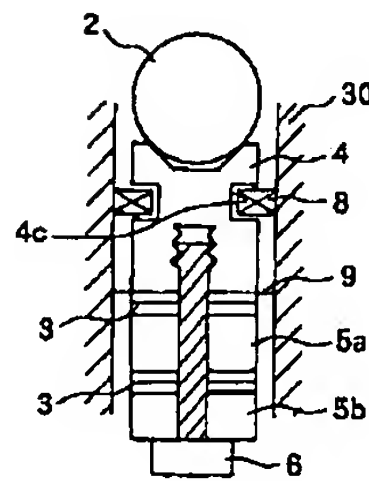
【図4】



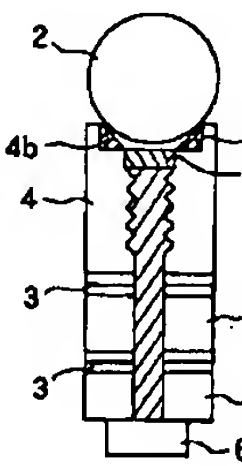
【図5】



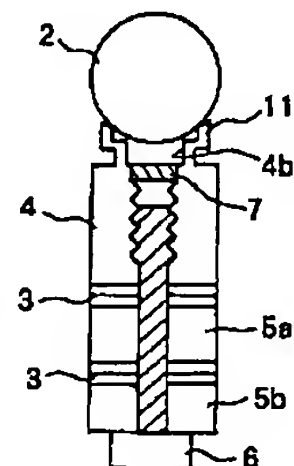
【図6】



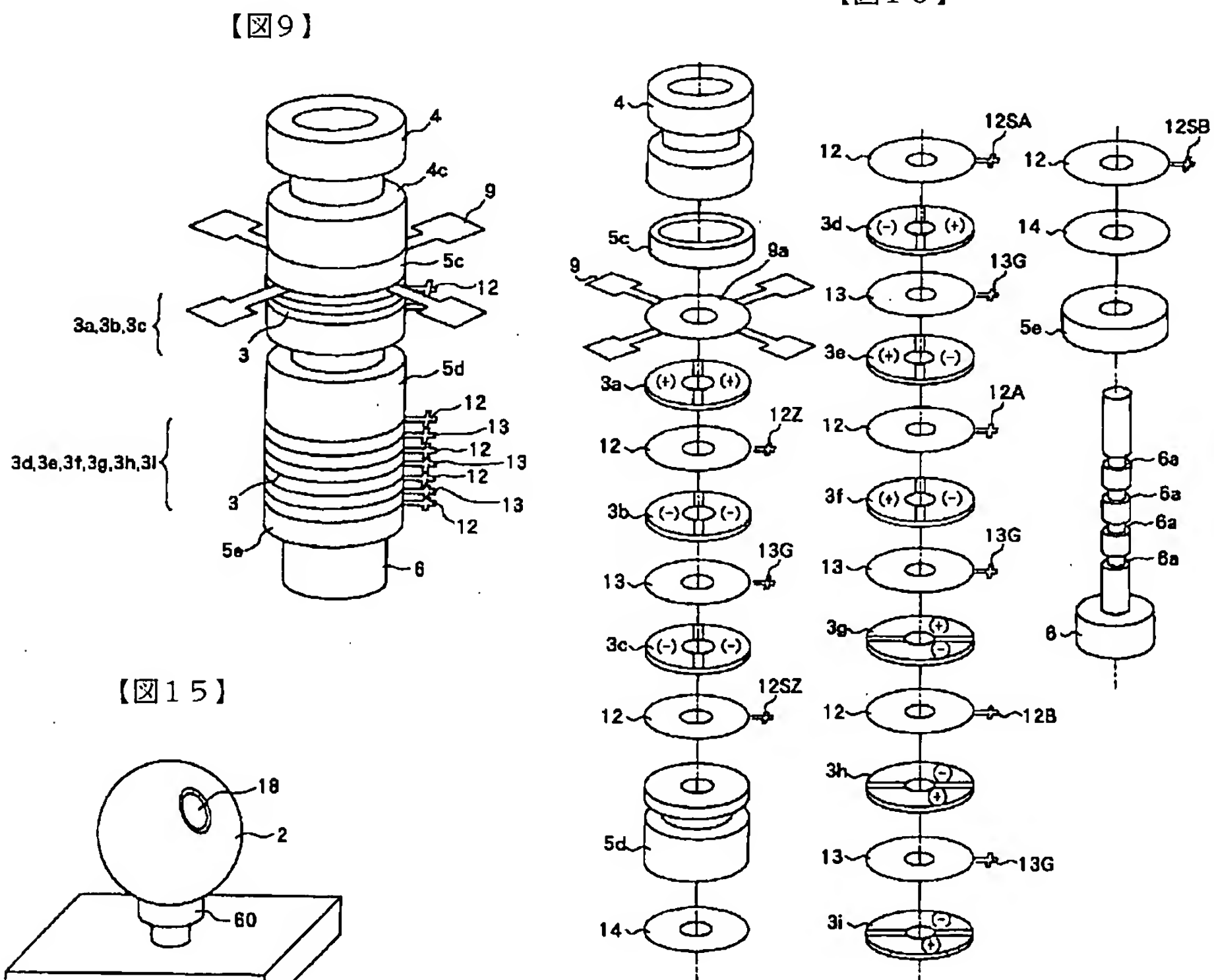
【図7】



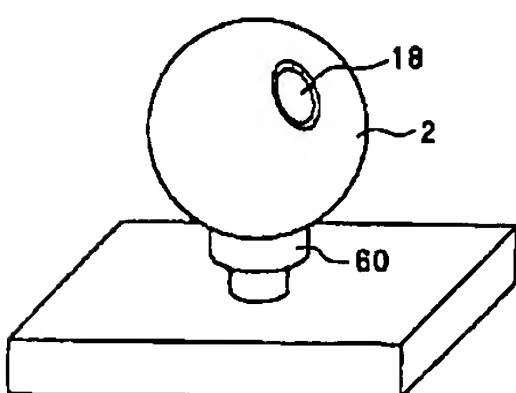
【図8】



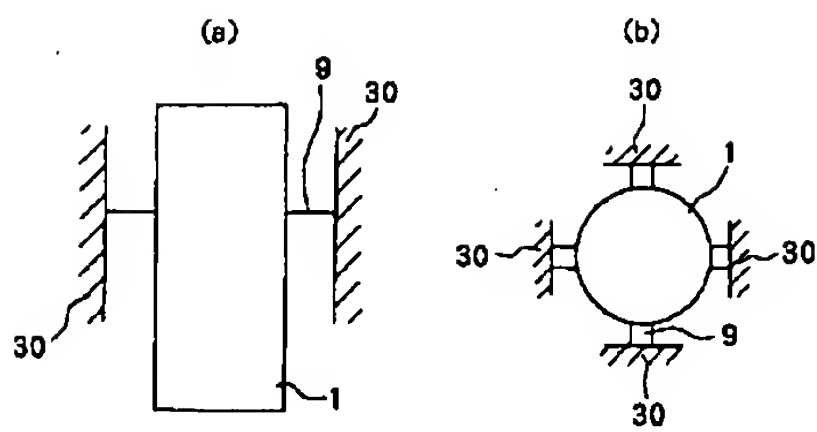
【図10】



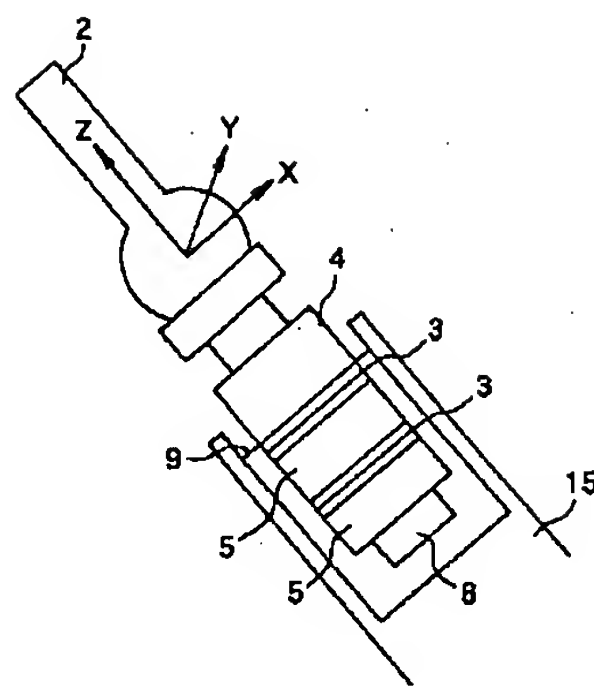
【図15】



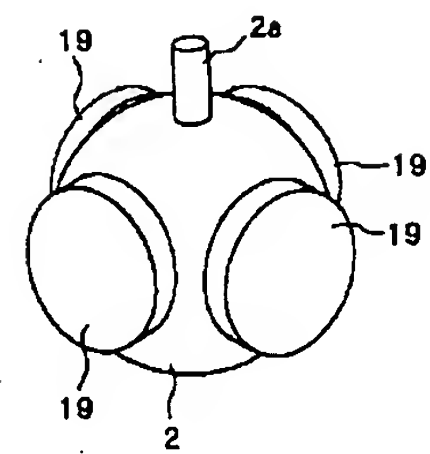
【図11】



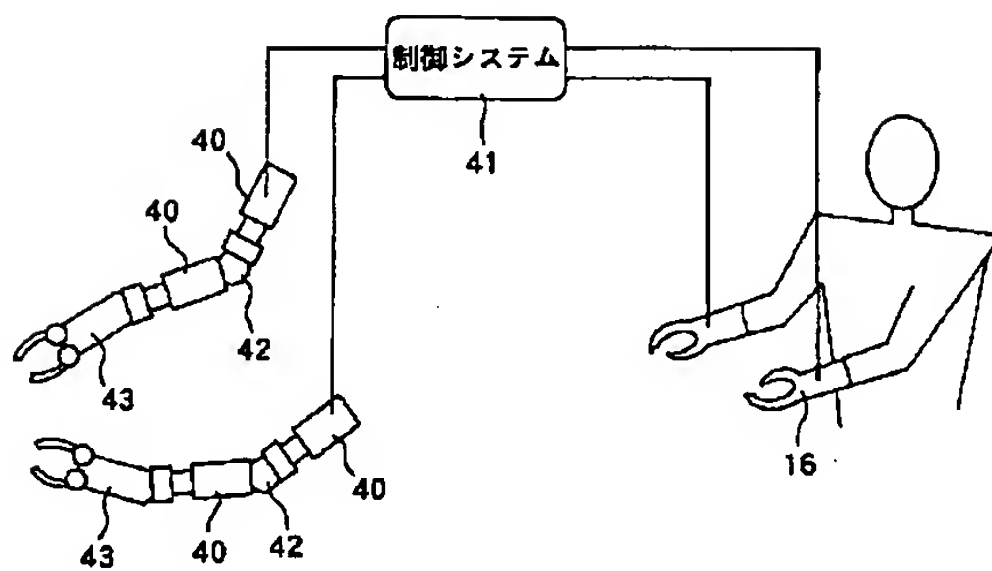
【図12】



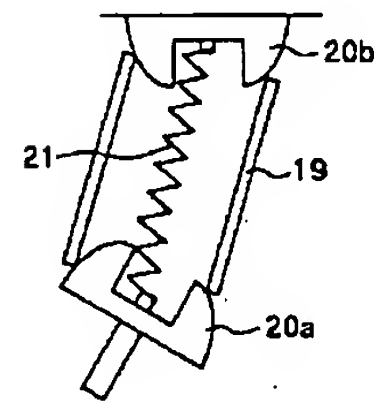
【図17】



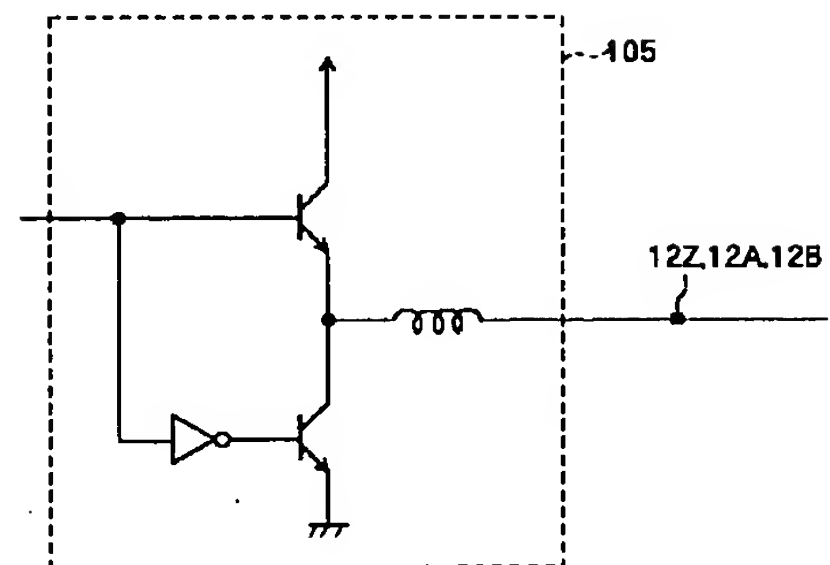
【図13】



【図18】



【図20】



【図19】

